

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

011884474 **Image available**

WPI Acc No: 1998-301384/199827

XRPX Acc No: N98-235960

Imaging optical system with diffraction optical element for silver salt camera, electronic camera - has diffraction optical element whose diffraction efficiency is set such that wavelength becomes more than design wavelength of energy

Patent Assignee: OLYMPUS OPTICAL CO LTD (OLYU)

Inventor: KAMO Y

Number of Countries: 002 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 10104411	A	19980424	JP 96254586	A	19960926	199827 B
<i>con</i> <u>US 6011651</u>	A	20000104	US 97934894	A	19970922	200008

Priority Applications (No Type Date): JP 96254586 A 19960926

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 10104411	A	12	G02B-005/18	
US 6011651	A		G02B-005/18	

Abstract (Basic): JP 10104411 A

The system has a diffraction optical element. The diffraction efficiency of diffraction optical element is set such that the wavelength becomes more than design wavelength (λ) of energy. The design wavelength of energy satisfies an equation. $0 < E1(\lambda) + E3(\lambda) < 0.2$.

Here $E1(\lambda)$ is the amount of colour flares received by a blue photosensitive layer or blue light receiving in the element. Similarly, $E3(\lambda)$ is the amount of colour flares received by a red photosensitive layer or red light receiving element.

ADVANTAGE - Prevents conspicuousness of colour flare. Obtains high resolution. Reduces blue or red flare by unnecessary light.

Dwg.1/19

Title Terms: IMAGE; OPTICAL; SYSTEM; DIFFRACTED; OPTICAL; ELEMENT; SILVER; SALT; CAMERA; ELECTRONIC; CAMERA; DIFFRACTED; OPTICAL; ELEMENT; DIFFRACTED; EFFICIENCY; SET; WAVELENGTH; MORE; DESIGN; WAVELENGTH; ENERGY

Derwent Class: P81; W04

International Patent Class (Main): G02B-005/18

International Patent Class (Additional): G02B-013/18

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): W04-M01C3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-104411

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月24日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 5/18
13/18

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18
13/18

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平8-254586

(22) 出願日 平成8年(1996) 9月26日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 加茂裕二

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン
パス光学工業株式会社内

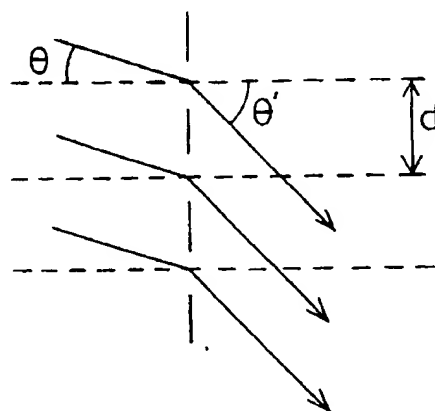
(74) 代理人 弁理士 荏澤 弘 (外7名)

(54) 【発明の名称】 回折光学素子を用いた撮影光学系

(57) 【要約】

【課題】 色フレアが目立たないようなDOEを用いた
撮像光学系。

【解決手段】 少なくとも一つの回折光学素子を有し、
その回折光学素子の回折効率が最大になる波長を設計波
長 λ_{DOE} とするとき、設計波長 λ_{DOE} が
 $0 < E_1(\lambda_{DOE}) + E_3(\lambda_{DOE}) < 0.2$
を満たしている。ここで、 $E_1(\lambda_{DOE})$ は青の感光層
あるいは青の受光素子が受光する色フレア量、赤の感光
層あるいは赤の受光素子が受光する色フレア量である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折効率が最大になる波長を設計波

$$0 < E_1(\lambda_{DOE}) + E_3(\lambda_{DOE}) < 0.2$$

ただし、 $E_1(\lambda_{DOE})$ 、 $E_3(\lambda_{DOE})$ は次の通りである。

$$E_1(\lambda_{DOE}) = \{ \int D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda + \int D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} / \{ \int L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \}$$

$$\int L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda$$

$$= \int L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) d\lambda$$

$$= \int L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda$$

とする。以上において、

$D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda)$ 、 $D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda)$ ：回折光学素子の設計次数、設計波長がそれぞれ m 、 λ_{DOE} のときの $(m-1)$ 次と $(m+1)$ 次の波長 λ での回折効率、

$L(\lambda)$ ：光源の λ での分光特性、

$F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ ：撮像手段の中のそれぞれある波長域の光を検出する受光手段の分光感度

$$470\text{nm} < \lambda_{DOE} < 550\text{nm}$$

【請求項3】 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折面はキノフォーム形状であり、

$$0.48\mu\text{m} < h < 1.25\mu\text{m}$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回折光学素子(Diffractive Optical Element：以下、DOEと呼ぶ。)を用いた撮影光学系に関するものであり、例えば銀塩カメラや電子カメラ等の比較的広い波長域で使用される撮影光学系に利用されるものである。また、特に、3色以上の発色によるカラー画像に対応する撮影光学系に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、銀塩カメラや電子カメラ等は小型で軽量なものが携帯しやすく好まれるため、撮影光学系も小型化を目的とした提案が多数されてきた。カメラ等で用いられる一般的な撮影光学系は、光線を屈折作用によって曲げる屈折系で構成されている。ところが、屈折レンズは焦点距離の確保や収差補正のため曲率半径を有しているため、レンズの縁肉を確保するため、肉厚を大きくしたり、お互いのレンズが干渉しないように軸上間隔を大きくすることがあった。また、正レンズと負レンズを組み合わせて収差補正を行っているため、枚数が多くなってしまうと大幅に小型化するのは難しかった。

【0003】そこで、近年では、非球面を用いてレンズ枚数を少なくすることにより小型化が達成されてきてい

$$\sin \theta - \sin \theta' = m\lambda/d$$

ただし、 θ は入射角、 θ' は射出角、 λ は光の波長、 d

長 λ_{DOE} とすると、設計波長 λ_{DOE} が次の条件を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (1)$$

$$E_3(\lambda_{DOE}) = \{ \int D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda + \int D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} / \{ \int L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \}$$

ただし、

特性。ただし、分光感度が最大になる波長が小さい方から $F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ とする、 $T(\lambda)$ ：撮影光学系の λ での透過率。

【請求項2】 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折効率が最大になる波長を設計波長 λ_{DOE} とすると、設計波長 λ_{DOE} が次の条件を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (4)$$

その鋸歯状の山の高さ h は次の条件を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (6)$$

る。ところが、非球面は球面収差やコマ収差等の単色収差は補正できるが、色収差の補正ができないという欠点があった。そのため、あまり枚数を減らしてしまうと色収差が悪化してしまうため、屈折系で性能を確保しつつ小型化することには限界があった。

【0004】一方、近年では、回折作用によって光線を屈曲させる回折光学素子(DOE)が注目されてきている。DOEは屈折系とは違いパワーが曲率半径によらないことから、屈曲面を例えばフラットな面にして構成することもできる。また、DOEは-3.45という逆分散の特性を有しているため、従来の屈折系と違い、正パワー+正パワーでも色消しできる。このような特徴があるため、撮影光学系にDOEを用いることが考えられている。

【0005】ここで、まず、そのDOEについて説明を行う。DOEに関しては、「光学」22巻635～642頁及び730頁～737頁に詳しく解説されている。

【0006】従来のレンズが媒質の界面における屈折作用に基づいているのに対し、DOEは光の回折作用に基づいている。一般的に、図1で示すような回折格子へ光が入射したとき、回折作用にて射出する光は以下の関係式を満たす。

$$\dots (a)$$

は回折格子のピッチ、 m は回折次数である。

【0007】したがって、リング状の回折格子のピッチを適切に構成してやれば、光を一点に集中させることができ、レンズ作用を持たせることができる。すなわち、j番目の格子のリング半径を r_j 、回折面の焦点距離を f とすると、j番目の格子により回折された光線と中心

$$\sqrt{(r_j^2 + f^2)} - f = j\lambda$$

また、 r_j が焦点距離に対してあまり大きくなければ、格子のリング半径 r_j は次の式で表される。

$$r_j = \sqrt{2j\lambda f}$$

一方、回折格子の構成法としては、明暗のリングにて構成する振幅変調型、屈折率あるいは光路長を変える位相変調型等が提案されている。振幅変調型のDOEでは複数の回折次数光が発生するため、入射光の光量と1次回折光の光量比（以下、回折効率と呼ぶ。）は最大でも6%程度である。あるいは、振幅変調型のDOEを漂白処

$$h = m\lambda / (n-1)$$

ただし、 h は山の高さ、 m は回折次数（以下、設計回折次数と呼ぶ。）、 n は回折面を構成する光学部材の屈折率である。

【0010】ところが、(c)式は波長の式になってい

$$D_n(\lambda) = \text{sinc}^2 \left[\pi \left\{ M - m \left\{ (1-n) / (1-n_{\text{DOE}}) \right\} (\lambda_{\text{DOE}} / \lambda) \right\} \right] \quad \dots (d)$$

ただし、 M 、 m はそれぞれ使用回折次数、設計回折次数、 λ 、 λ_{DOE} はそれぞれ使用波長、設計波長、 n 、 n_{DOE} はそれぞれ波長 λ 、 λ_{DOE} のときの回折面を構成する光学部材の屈折率である。

【0011】この式は、設計波長以外では回折効率が100%よりも小さくなってしまふことを表している。 m 次の回折効率が低下すると、それ以外の次数（例えば、 $m+1$ 、 $m-1$ 次等）の光が発生してきて、それがあまり大きくなるとフレアとして検出されてしまうことがある。以下では、 m 次光を設計次数光と呼び、それ以外の次数の光をまとめて不要次数光と呼んでいく。

【0012】また、キノフォーム形状を図3のように階段近似したものは、バイナリー光学素子と呼ばれたりするが、これはリソグラフィ的手法にて比較的容易に製作できる。バイナリー光学素子では、4段階近似で81%、8段階近似で95%、16段階近似で99%の回折効率が得られることが知られている。

【0013】以上のような特徴を持つDOEは、コンパクトディスク等のピックアップレンズや、自動車等の視野前方に像を映し出すヘッドアップディスプレイ（HUD）等ですでに使用されている。このように、DOEはピックアップのような単色の光学系や、HUDのような視認性を上げるために使用する波長域を30nm程度に狭くしている光学系にしか利用されていない。

【0014】ところが、一般的な撮影光学系では、上記の光学系よりかなり広い350nm程度の波長域で使用するため、これにDOEを用いると、フレアが多くなっ

て通る光線との光路差が波長の整数倍になるように構成すれば、2つの光は強め合うことになる。つまり、以下の関係式を満たす。

【0008】

$$\dots (b-1)$$

【0009】

$$\dots (b-2)$$

理等を施して改良したとしても、回折効率は最大で34%程度である。しかし、同じく位相変調型のDOEでも、その断面形状を図2に示すような鋸歯形状で構成すれば回折効率を100%まで向上することができる。そのようなDOEをキノフォームと称している。このとき、鋸歯状の山の高さは次式で与えられる。

$$\dots (c)$$

るため、回折効率100%は只一つの波長でしか達成されない。このとき、回折効率 $D_n(\lambda)$ は次の式で表される。

てしまい画質に影響が出てしまうことから、不要次数光の問題を解決する必要があった。

【0015】そこで、この不要次数光によるフレアの問題を解決するために、さまざまな提案がされている。特開平6-194571号では、DOEを有する内視鏡対物レンズにおいて、入射光量と回折効率から定義された設計次数光の光量との差をとってフレア量を定義し、キノフォームのブレース化波長（回折効率を100%にする波長）を適当に設定することによりフレアを小さくしている。さらに、光源と撮像素子の特性を考慮してウエイト付けされたフレア量を定義し、ブレース化波長を適当に設定してフレアを小さくしている。

【0016】また、特開平7-324262号、特開平8-43767号では、DOEを有するカメラ用撮影レンズにおいて、DOEの回折効率、撮像素子の分光特性、レンズの透過率から設計次数光の光量を定義し、それを保つように条件式を設定している。これは、その結果、不要次数光によるフレア量が小さくなることを意味している。また、特に特開平8-43767号では、回折効率を最大にする波長も設定している。

【0017】また、WO95/18393でも、DOEを有するカメラ用撮影レンズにおいて、回折効率から設計次数光の光量を定義し、それが大きくなるようにブレース化波長を設定している。これらの発明は、不要次数光によるフレアを少なくするために、設計次数光の光利用効率を大きくする方法をとっている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】これまで、DOEを用いた撮影光学系において、設計次数光の光利用効率を大きくしておけば、フレアに関しては問題が少なくなると考えられてきた。

【0019】ところが、DOEを用いた光学系でカラー撮影を行ってみると、カラー画像におけるフレアは、特に青若しくは赤が目立って発生することが分かった（以下、色フレアと呼ぶ。）。

【0020】しかし、以下に示すように、先行例では、色フレアについてほとんど問題にあげられていないため、それを解決する手段も示されていない。

【0021】まず、特開平6-194571号には、フレアに関する具体的な現象やその色に関する記述はなく、また、撮像素子の分光特性は一つの関数で表される黑白画像のものしか考慮していないため、この発明では、カラー画像に係わる色フレアの問題が解決されていない。

【0022】また、特開平7-324262号でも、黑白画像しか考慮していないため、同様に色フレアの問題

$$0 < E_1(\lambda_{DOE}) + E_3(\lambda_{DOE}) < 0.2 \quad \dots (1)$$

ただし、 $E_1(\lambda_{DOE})$ 、 $E_3(\lambda_{DOE})$ は次の通りである。

$$E_1(\lambda_{DOE}) = \{ \{ D_{m-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda + \{ D_{m+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \div \{ \{ L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \}$$

$$\{ L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda$$

$$= \{ L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) d\lambda$$

$$= \{ L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda$$

とする。以上において、

$D_{m-1}(\lambda_{DOE}, \lambda)$ 、 $D_{m+1}(\lambda_{DOE}, \lambda)$ ：回折光学素子の設計次数、設計波長がそれぞれ m 、 λ_{DOE} のときの $(m-1)$ 次と $(m+1)$ 次の波長 λ での回折効率、

$L(\lambda)$ ：光源の λ での分光特性、

$F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ ：撮像手段の中のそれぞれある波長域の光を検出する受光手段の分光感度特性。ただし、分光感度が最大になる波長が小さい方から $F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ とする、

$T(\lambda)$ ：撮影光学系の λ での透過率。

【0025】以下に、本発明において上記の構成をとった理由と作用を説明する。最初に、色フレアの原因を説明する。色フレアは、DOEの不要次数光が関与していることから、不要次数光の回折効率を明らかにする。

【0026】ここで、回折効率の式(d)において、例えば、設計回折次数 m を1、回折効率を最大にする設計波長 λ_{DOE} を500nm、回折面を構成する光学部材をアクリル樹脂として計算すると、図4のようになる。このように、設計波長の500nmでは回折効率が100%になるが、波長によって1次の設計次数光の回折効率

は解決されていない。また、特開平8-43767号では、色フレアに関してわずかに記述されているが、その具体的な解決方法が示されていない。また、WO95/18393でも、フレアに関する具体的な現象やその色に関する記述はなく、撮像素子を考慮していないため、色フレアの問題は解決されていない。

【0023】このように、何れの先行例でも、この色フレアの問題を解決できないことが分かる。したがって、この色フレアに注目してこれを軽減する方法を見つ出す必要があった。すなわち、本発明の目的は、色フレアが目立たないようなDOEを用いた撮像光学系を提供することである。

【0024】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明の回折光学素子を用いた撮影光学系は、少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折効率が最大になる波長を設計波長 λ_{DOE} とすると、設計波長 λ_{DOE} が次の条件を満たしていることを特徴とするものである。

$$E_3(\lambda_{DOE}) = \{ \{ D_{m-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda + \{ D_{m+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \div \{ \{ L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \}$$

ただし、

が低下すると、0又は2次の回折効率が大きくなってしまふことが分かる。つまり、設計次数光以外の不要な光が発生することになる。また、設計波長を450nm、550nmにして計算したものが図5、図6である。これらから分かるように、不要次数光の回折効率は設計波長によって大きく変化してくる。

【0027】ここで、さらに高次の $m+2$ 、 $m+3$ 、…次や、 $m-1$ 、 $m-2$ 、…次については、図7に示すように、次数が設計次数 m から離れるにつれて回折効率は小さくなっていくため、フレア光は弱くなってきて影響は少なくなっていく。そのため、不要次数光の中、 $m-1$ 、 $m+1$ 次の影響が最も大きいといえる。

【0028】ここで、撮像手段の分光特性について説明する。撮像手段とは、像を記録する手段であり、例えば銀塩フィルムやCCD等があげられる。例として、図8に一般的なカラーフィルムの分光特性を示した。撮像手段は、一般的に少なくとも3つの波長域に分かれた受光手段を有しており、それを混合することによってカラー画像の再現を行っている。また、これらを以下の分光感度のピーク波長の小さい順からそれぞれ第1、2、3受光手段と呼んでいく。銀塩カメラに用いられるカラーフ

ィルムも3つの感光層からなる受光手段を有しており、一般的に、青、緑、赤の波長域にピーク波長を有するように構成してある。

【0029】ここで、回折効率と撮像手段の分光特性の2つの図より、図6のときには、 $m+1$ 次すなわち2次光が大きいため、第1受光手段に記録されやすく、図5のときには、 $m-1$ 次すなわち0次光が大きいため、第3受光手段に記録されやすいことが分かる。このため、青又は赤の色フレアが発生しやすくなる。一方、第2受光手段については図5、図6のどちらでも不要次数光の光は少ないため、色フレアが発生し難いことが分かる。

【0030】したがって、青又は赤の色フレアの原因は、 $m+1$ 又は $m-1$ 次光がそれぞれ第1受光手段又は第3受光手段によって受光される量が大きくなってしまいうからといえる。

$$\begin{aligned} L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) \\ L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) \\ L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) \end{aligned}$$

ただし、 $L(\lambda)$ は光源の λ での分光特性、 $F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ は撮像手段の中ある波長域の光を検出する受光手段の λ での分光感度特性、

$$\begin{aligned} \int L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \\ = \int L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) d\lambda \\ = \int L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

であり、それぞれの受光手段の出力を同じにして色を混合することによりカラーバランスのとれた色再現を行っている。

【0035】ここで、後記の第1実施例の条件、すなわち、光源が白色光源(D5500)である図9、撮像手段が一般的なカラーフィルムである図8、レンズの透過率が図10であるような $L(\lambda)$ 、 $F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ 、 $T(\lambda)$ について計算を行うと、分光特性は図11のようになる。

$$\begin{aligned} D_m(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) \dots (h-1) \\ D_m(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) \dots (h-2) \\ D_m(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) \dots (h-3) \end{aligned}$$

この式を用いて不要次数光の分光特性も定義できる。設計次数を m としたとき、不要次数光 $m-1$ 次光の分光特

$$\begin{aligned} D_{m-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) \dots (i-1) \\ D_{m-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) \dots (i-2) \\ D_{m-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) \dots (i-3) \end{aligned}$$

であり、同様に、不要次数光 $m+1$ 次光の分光特性は、

$$\begin{aligned} D_{m+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) \dots (j-3) \\ D_{m+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) \dots (j-3) \\ D_{m+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) \dots (j-3) \end{aligned}$$

で定義できる。

【0038】ここで、キノフォームで回折面を構成すると、回折効率の特性は(d)式で表される。設計次数 $m=1$ として、後記の第1実施例に示すような条件で(h

【0031】この問題を解決するために、本発明では、色フレアが目立たなくなるように、回折効率を最大にするDOEの設計波長 λ_{DOE} を最適化する手段をとった。そのために、分光特性から不要次数光の色フレア量を定義し、その量を小さくするように設計波長を設定している。

【0032】それでは、設計波長 λ_{DOE} を最適化する手順と作用を順に説明する。また、実際の計算結果についても、後記の第1実施例について説明を加える。まず、DOEを用いたときの分光特性について説明する。従来の一般的な撮影光学系での分光特性は、光源と撮像手段とレンズの透過率の要素から決まる。特に、撮像手段が3つの波長域の受光手段に分かれているときには、次のように定義される。

【0033】

$$\begin{aligned} \dots (e-1) \\ \dots (e-2) \\ \dots (e-3) \end{aligned}$$

$T(\lambda)$ は撮影光学系の λ での透過率である。

【0034】また、それぞれの式の関係は、

【0036】そこで、撮影光学系にDOEを用いると、さらにDOEの m 次の回折効率 $D_m(\lambda)$ の要因が加わってくる。回折効率 $D_m(\lambda)$ は、設計波長 λ_{DOE} と λ の式 $D_m(\lambda_{DOE}, \lambda)$ と書ける。よって、設計波長 λ_{DOE} のDOEを用いたときの分光特性は次のように定義できる。また、DOEを用いない一般的な撮影光学系と比較するため、以下の式も(f)式を満たすこととする。

【0037】

$$\begin{aligned} \dots (h-1) \\ \dots (h-2) \\ \dots (h-3) \end{aligned}$$

性は、

$$\begin{aligned} \dots (i-1) \\ \dots (i-2) \\ \dots (i-3) \end{aligned}$$

$-1) \sim (h-3)$ 式、 $(i-1) \sim (i-3)$ 式、

$(j-1) \sim (j-3)$ 式について計算を行うと、図12(a)とその不要次数光の部分を拡大した図12(b)のようになる。DOEを用いない一般的な分光特

性である図11と比較すると、設計次数である m 次（ここでは、1次光）の分光特性が低下し、その分不要次数光の $m-1$ 次、 $m+1$ 次光（0、2次光）の分光特性として発生していることが分かる。そして、これが色フレアとなってくる。

【0039】これで不要次数光の分光特性が分かったが、次に、このように定義された分光特性から色フレア量を定義する。分光特性が示す値は、光学系を通った後記録される波長 λ での光のエネルギーであるため、結像に関わるトータルの光のエネルギーを求めるには、この

$$\begin{aligned} & \{ \int D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \\ & + \int D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \\ & \div \{ \int L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \\ & \dots (k-1) \end{aligned}$$

第2受光手段で受光する色フレア量：

$$\begin{aligned} & \{ \int D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) d\lambda \\ & + \int D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \\ & \div \{ \int L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \\ & \dots (k-2) \end{aligned}$$

第3受光手段で受光する色フレア量：

$$\begin{aligned} & \{ \int D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \\ & + \int D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \\ & \div \{ \int L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \\ & \dots (k-3) \end{aligned}$$

この中、問題にしていた色フレアは青又は赤であるため、この式の中、第1受光手段又は第3受光手段で受光される色フレア量が問題であるといえる。それを示す $(k-1)$ と $(k-3)$ 式の量が共に小さくなるようなDOEの設計波長 λ_{DOE} を求めればよい。

$$0 < E_1(\lambda_{DOE}) + E_3(\lambda_{DOE}) < 0.2 \quad \dots (1)$$

この式は、設計波長が λ_{DOE} のときの青と赤と色フレア量の和を示したものである。したがって、この上限の0.2を越えると、色フレアが目立ってくるため、画質が悪くなってしまう。

【0044】以上のように設計波長を最適化すれば、色

$$0.20 < E_1(\lambda_{DOE}) / E_3(\lambda_{DOE}) < 5 \quad \dots (2)$$

この式は、設計波長 λ_{DOE} における青と赤の色フレア量の比を表したものであり、条件式(2)の値が1になれば色フレアは同じ強度になる。そのため、この条件式の上限5を越えると、青の色フレアが比較的目的目立ちやすくなり、下限の0.20を越えると、赤の色フレアが比較

$$1 < E_1(\lambda_{DOE}) / E_3(\lambda_{DOE}) < 5 \quad \dots (3)$$

また、実際に銀塩カメラや電子カメラの条件で最適な設計波長を明らかにすると、DOEの設計波長は、次の条

$$470 \text{ nm} < \lambda_{DOE} < 550 \text{ nm}$$

この式は、DOEの回折効率を最大にする設計波長の条件を表し、この上限の550nmを越えると、青の色フレアが目立ちやすくなり、この下限の470nmを越えると、赤の色フレアが目立ちやすくなる。

$$510 \text{ nm} < \lambda_{DOE} < 550 \text{ nm}$$

分光特性を全ての λ で積分すればよい。すなわち、分光特性を表す図12(b)における面積が色フレア量になる。

【0040】したがって、色フレア量は、式 $(i-1) \sim (i-3)$ 、式 $(j-1) \sim (j-3)$ の積分量から定義できる。そのようにして $(m-1)$ 次と $(m+1)$ 次の色フレア量を定義し、和をとり、正規化すると、第1～3の受光手段毎の色フレア量は、式 $(k-1) \sim (k-3)$ のように表すことができる。

【0041】第1受光手段で受光する色フレア量：

【0042】そこで、 $(k-1)$ と $(k-3)$ 式をそれぞれ $E_1(\lambda_{DOE})$ 、 $E_3(\lambda_{DOE})$ とすると、色フレアを目立たなくするためには、DOEの設計波長 λ_{DOE} を以下の条件式を満たすように設定すればよい。

【0043】

フレアが軽減された撮影光学系を得ることができる。さらに高画質を得るためには、青と赤の色フレア量のバランスを取るとよい。そのため、次の条件式を満たした方が好ましい。

【0045】

目的目立ちやすくなってしまう。

【0046】また、人間の目で観察する際には、赤の方が目立ちやすく感じるため、さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

【0047】

件を満たすのがよい。

【0048】

目的目立ちやすくなってしまう。

【0049】また、人間の目で観察する際には、赤の方が目立ちやすく感じるため、さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

【0050】

目的目立ちやすくなってしまう。

そこで、後記の第1実施例の条件で色フレア量を求めると、図13のようになり、条件式(4)又は(5)の範囲でDOEの設計波長を設定すれば、色フレアの問題が軽減される。

【0051】また、DOEの回折面は、撮影光学系の光利用効率を大きくするため、回折効率を大きくできるキノフォーム形状、若しくは、キノフォーム形状を階段近似したバイナリー光学素子と呼ばれるものが好ましい。

【0052】また、本発明の撮影光学系は比較的広い波長で使用するものであるため、色フレアを軽減するため

$$0.48\mu\text{m} < h < 1.25\mu\text{m}$$

この式は、実在する硝材において、設計波長を(4)式の範囲で設定し、設計次数を1にしたときのキノフォームの鋸歯状の山の高さを設定したものである。このように構成すれば、光利用効率を大きくでき、さらに、色フレアの問題についても軽減できる。そのため、この上限の $1.25\mu\text{m}$ を越えると、青の色フレアが目立ちやす

$$0.53\mu\text{m} < h < 1.25\mu\text{m}$$

また、DOEは、波長が変化すると回折効率が低下してしまい、色フレアが発生してしまうため、回折面を2面以上用いると、色フレアの発生量がさらに大きくなってしまう。そのため、高画質を達成するには、回折面は1面にするのが好ましい。

【0057】

【発明の実施の形態】以下に、本発明のDOEを用いた撮影光学系のいくつかの実施例について説明する。

(第1実施例)第1実施例は、光源の分光特性が白色光源(D5500)である図9、撮像手段の分光特性が一般的なカラーフィルムである図8、レンズの透過率が図10であるときに、DOEの設計波長 $440\sim 560\text{nm}$ の範囲で色フレア量 $E_1(\lambda_{\text{DOE}})$ と $E_3(\lambda_{\text{DOE}})$

λ_{DOE}	E_1	E_3
440	0.012	0.204
450	0.016	0.185
460	0.022	0.166
470	0.031	0.148
480	0.042	0.131
490	0.055	0.115
500	0.071	0.101
510	0.089	0.087
520	0.109	0.074
530	0.131	0.062
540	0.156	0.052
550	0.182	0.042
560	0.210	0.033

【0060】(第2実施例)第2実施例は、光源の分光特性がストロボ光源である図15、撮像手段の分光特性が一般的なカラーフィルムである図8、レンズの透過率が図10であるときに、DOEの設計波長 $440\sim 560\text{nm}$ の範囲で色フレア量 $E_1(\lambda_{\text{DOE}})$ と $E_3(\lambda_{\text{DOE}})$

には、波長が変化したときの回折効率の低下量が少ない方がよい。図14に設計次数 m が1~5のときの回折効率を示す。この図から明らかなように、設計次数 m が大きくなると波長の変化による低下量が大きくなっていくため、色フレアの発生量が増えてしまう。そのため、設計次数 m は1にするのが望ましい。

【0053】また、回折面を図2に示すようなキノフォーム形状にしたとき、鋸歯状の山の高さ h は次の条件を満たすのがよい。

【0054】

... (6)

くなり、この下限の $0.48\mu\text{m}$ を越えると、赤の色フレアが目立ちやすくなる。

【0055】また、人間の目で観察する際には、赤の方が目立ちやすく感じるため、さらに好ましくは、(5)式で設定した範囲で次の条件式を満たすのがよい。

【0056】

... (7)

を計算したものである。DOEの回折効率は、設計回折次数 m を1とし、回折面を構成する光学部材をアクリル樹脂としている。ただし、条件式における $E_1(\lambda_{\text{DOE}})$ 、 $E_3(\lambda_{\text{DOE}})$ における積分計算は、 10nm おきの分光特性値の Σ (総和)をとって計算している。また、その計算範囲は $350\text{nm}\sim 700\text{nm}$ としている。

【0058】その結果を示す図13より、条件式(1)を満たす設計波長は、おおよそ $450\text{nm}\sim 530\text{nm}$ であることが分かる。さらに、計算結果を示す下表により、条件式(2)を満たす設計波長は、おおよそ $470\text{nm}\sim 530\text{nm}$ であることが分かる。

【0059】実施例1

条件式(1) 条件式(2)

0.216	0.060
0.200	0.086
0.188	0.133
0.179	0.207
0.173	0.317
0.170	0.477
0.171	0.704
0.176	1.024
0.183	1.474
0.194	2.112
0.207	3.023
0.224	4.346
0.243	6.308

λ_{DOE} を計算したものである。DOEの回折効率は、設計回折次数 m を1として、回折面を構成する光学部材を光学ガラスS-LAH66(OHARA)としている。ただし、条件式における $E_1(\lambda_{\text{DOE}})$ 、 $E_3(\lambda_{\text{DOE}})$ における積分計算は、 10nm おきの分光

特性値の Σ (総和) をとって計算している。また、その計算範囲は350nm~700nmとしている。

【0061】その結果を示す図18より、条件式(1)を満たす設計波長は、おおよそ450nm~550nm

λ_{DOE}	E_1	E_3
440	0.009	0.206
450	0.011	0.186
460	0.015	0.167
470	0.022	0.149
480	0.031	0.132
490	0.042	0.116
500	0.056	0.101
510	0.072	0.087
520	0.091	0.074
530	0.111	0.063
540	0.134	0.052
550	0.159	0.042
560	0.185	0.033

【0063】(第3実施例) 第3実施例は、光源の分光特性が白色光源(D5500)である図9、撮像手段の分光特性がCCDである図16、レンズの透過率が図17であるときに、DOEの設計波長440~600nmの範囲で色フレア量 E_1 (λ_{DOE}) と E_3 (λ_{DOE}) を計算したものである。DOEの回折効率は、設計回折次数 m を1とし、回折面を構成する光学部材をアクリル樹脂としている。ただし、条件式における E_1 (λ_{DOE})、 E_3 (λ_{DOE}) における積分計算は、1

λ_{DOE}	E_1	E_3
440	0.019	0.185
450	0.014	0.166
460	0.011	0.148
470	0.010	0.131
480	0.011	0.116
490	0.015	0.101
500	0.020	0.087
510	0.028	0.074
520	0.038	0.063
530	0.049	0.053
540	0.063	0.043
550	0.078	0.035
560	0.096	0.028
570	0.115	0.023
580	0.136	0.018
590	0.158	0.014
600	0.182	0.012

【0066】以上に説明した本発明の回折光学素子を用いた撮影光学系は、例えば次のように構成することができる。

〔1〕 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回

$$0 < E_1(\lambda_{DOE}) + E_3(\lambda_{DOE}) < 0.2$$

であることが分かる。さらに、計算結果を示す下表により、条件式(2)を満たす設計波長は、おおよそ480nm~530nmであることが分かる。

【0062】実施例2

条件式(1) 条件式(2)

0.215	0.044
0.197	0.057
0.182	0.089
0.171	0.145
0.163	0.232
0.159	0.363
0.158	0.554
0.160	0.829
0.165	1.220
0.174	1.782
0.186	2.593
0.201	3.782
0.219	5.559

0nmおきの分光特性値の Σ (総和) をとって計算している。また、その計算範囲は350nm~700nmとしている。

【0064】その結果を示す図19より、条件式(1)を満たす設計波長は、おおよそ440nm~600nmであることが分かる。さらに、計算結果を示す下表により、条件式(2)を満たす設計波長は、おおよそ500nm~550nmであることが分かる。

【0065】実施例3

条件式(1) 条件式(2)

0.204	0.101
0.180	0.082
0.159	0.073
0.141	0.077
0.127	0.099
0.116	0.148
0.108	0.235
0.103	0.377
0.101	0.598
0.102	0.936
0.106	1.447
0.114	2.217
0.124	3.373
0.137	5.097
0.153	7.605
0.172	11.077
0.194	15.358

折光学素子の回折効率が最大になる波長を設計波長 λ_{DOE} とするとき、設計波長 λ_{DOE} が次の条件を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (1)$$

ただし、 $E_1(\lambda_{DOE})$ 、 $E_3(\lambda_{DOE})$ は次の通りである。

$$E_1(\lambda_{DOE}) = \{ \int D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda + \int D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \div \{ \int L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \}$$

$$\begin{aligned} & \{ \int L(\lambda) F_1(\lambda) T(\lambda) d\lambda \\ & = \int L(\lambda) F_2(\lambda) T(\lambda) d\lambda \\ & = \int L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

とする。以上において、

$D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda)$ 、 $D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda)$ ：回折光学素子の設計次数、設計波長がそれぞれ m 、 λ_{DOE} のときの $(m-1)$ 次と $(m+1)$ 次の波長 λ での回折効率、

$L(\lambda)$ ：光源の λ での分光特性、

$$0.20 < E_1(\lambda_{DOE}) / E_3(\lambda_{DOE}) < 5 \quad \dots (2)$$

を満たしたことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$1 < E_1(\lambda_{DOE}) / E_3(\lambda_{DOE}) < 5 \quad \dots (3)$$

を満たしたことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0069】〔4〕 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折効率が最大になる波長を

$$470 \text{ nm} < \lambda_{DOE} < 550 \text{ nm}$$

【0070】〔5〕 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折効率が最大になる波長を設計波長 λ_{DOE} とすると、設計波長 λ_{DOE} が次の条件

$$510 \text{ nm} < \lambda_{DOE} < 550 \text{ nm}$$

【0071】〔6〕 上記〔1〕から〔5〕の何れか1項において、前記回折光学素子の回折面はキノフォーム形状であることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0072】〔7〕 上記〔1〕から〔6〕の何れか1項において、設計次数 m は1であることを特徴とする回

$$0.48 \mu\text{m} < h < 1.25 \mu\text{m}$$

【0074】〔9〕 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折面はキノフォーム形状で

$$0.53 \mu\text{m} < h < 1.25 \mu\text{m}$$

【0075】〔10〕 上記〔1〕から〔9〕の何れか1項において、回折面は1面であることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0076】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明のように回折効率を最大にする設計波長を式(1)に従って最適化することにより、DOEを比較的使用波長域の広い撮影レンズに使用しても、不要次数光による青又は赤のフレアを軽減することができ、高画質を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】回折格子による回折現象を説明するための図で

$$E_3(\lambda_{DOE}) = \{ \int D_{n-1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda + \int D_{n+1}(\lambda_{DOE}, \lambda) L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \} \div \{ \int L(\lambda) F_3(\lambda) T(\lambda) d\lambda \}$$

ただし、

$F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ ：撮像手段の中のそれぞれある波長域の光を検出する受光手段の分光感度特性。ただし、分光感度が最大になる波長が小さい方から $F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、 $F_3(\lambda)$ とする、
 $T(\lambda)$ ：撮影光学系の λ での透過率。

【0067】〔2〕 上記〔1〕において、さらに、

$$0.20 < E_1(\lambda_{DOE}) / E_3(\lambda_{DOE}) < 5 \quad \dots (2)$$

【0068】〔3〕 上記〔1〕において、さらに、

$$1 < E_1(\lambda_{DOE}) / E_3(\lambda_{DOE}) < 5 \quad \dots (3)$$

設計波長 λ_{DOE} とすると、設計波長 λ_{DOE} が次の条件を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (4)$$

を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (5)$$

折光学素子を用いた撮影光学系。

【0073】〔8〕 少なくとも一つの回折光学素子を有し、前記回折光学素子の回折面はキノフォーム形状であり、その鋸歯状の山の高さ h は次の条件を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (6)$$

あり、その鋸歯状の山の高さ h は次の条件を満たしていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$\dots (7)$$

ある。

【図2】キノフォームの断面形状を示す図である。

【図3】バイナリー光学素子の断面形状を示す図である。

【図4】設計波長を500nmとしたときの波長と回折効率の関係を示す図である。

【図5】設計波長を450nmとしたときの波長と回折効率の関係を示す図である。

【図6】設計波長を550nmとしたときの波長と回折効率の関係を示す図である。

【図7】設計波長を500nmとしたときの不要次数光の波長と回折効率の関係を示す図である。

【図8】一般的なカラーフィルムの分光特性を示す図である。

【図9】第1実施例、第3実施例における白色光源（D5500）の分光特性を示す図である。

【図10】第1実施例、第2実施例におけるレンズの分光透過率を示す図である。

【図11】第1実施例の条件においてDOEを用いないときの撮影光学系の分光特性を示す図である。

【図12】第1実施例の条件においてDOEを用いたときの撮影光学系の分光特性を示す図及びその不要次数光の部分を拡大した図である。

【図13】第1実施例における設計波長と不要次数光の色フレア量の関係を示す図である。

【図14】設計次数を1〜5にしたときの回折効率の変化を示す図である。

【図15】第2実施例におけるストロボ光源の分光特性を示す図である。

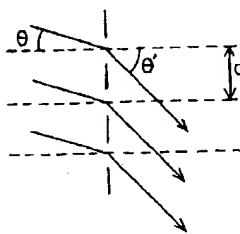
【図16】第3実施例におけるCCDの分光特性を示す図である。

【図17】第3実施例におけるレンズの分光透過率を示す図である。

【図18】第2実施例における設計波長と不要次数光の色フレア量の関係を示す図である。

【図19】第3実施例における設計波長と不要次数光の色フレア量の関係を示す図である。

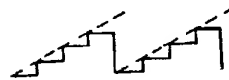
【図1】



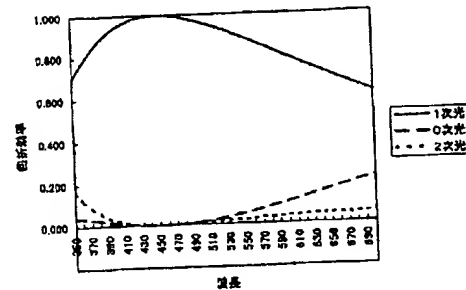
【図2】



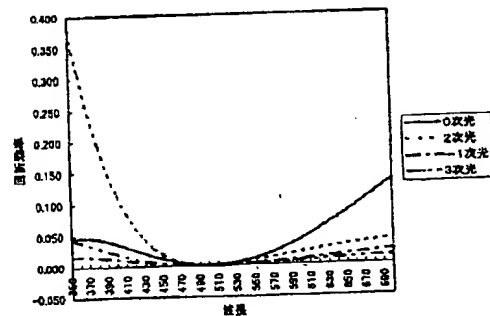
【図3】



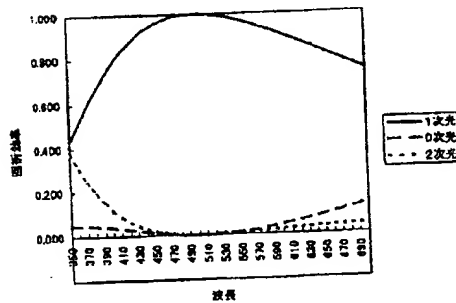
【図5】



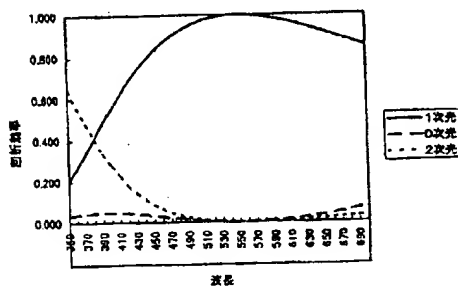
【図7】



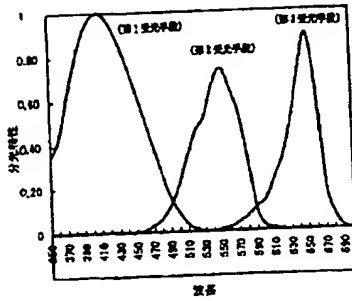
【図4】



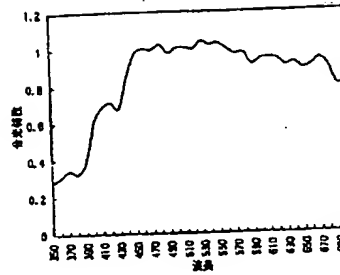
【図6】



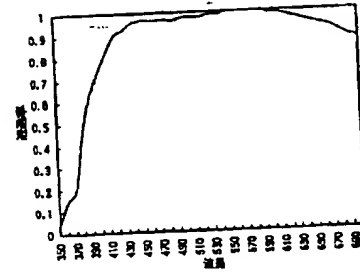
【図8】



【図9】

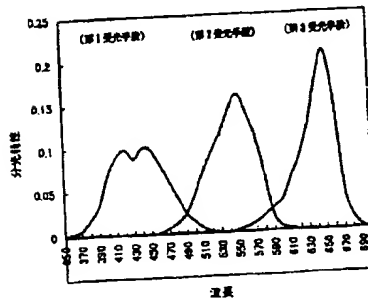


【図10】

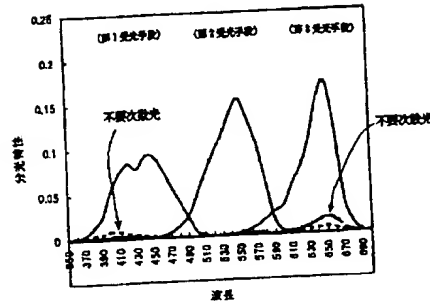


【図12】

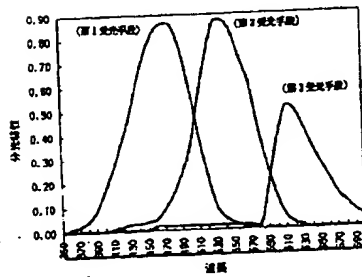
【図11】



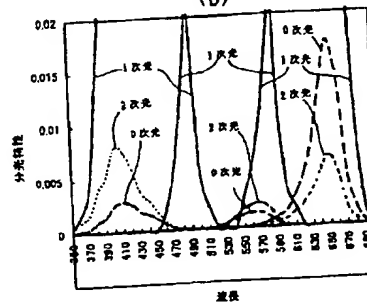
(a)



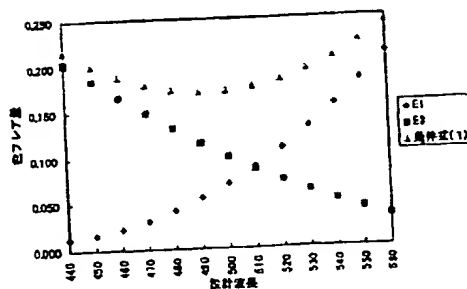
【図16】



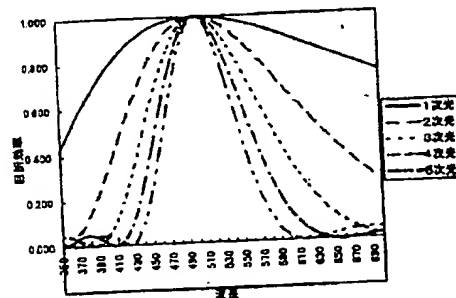
(b)



【図13】



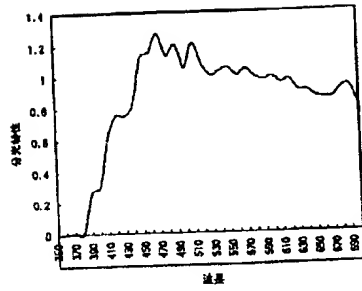
【図14】



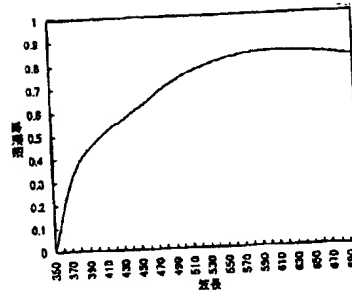
(12)

特開平10-104411

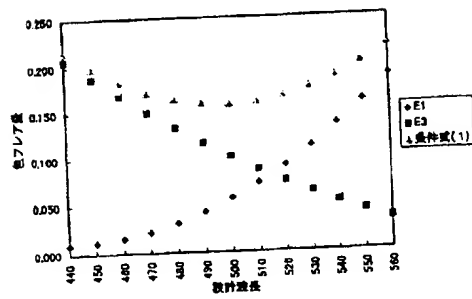
【図15】



【図17】



【図18】



【図19】

